

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-35982  
(P2001-35982A)

(43) 公開日 平成13年2月9日 (2001.2.9)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 L 23/473  
25/07  
25/18

識別記号

F I

H 0 1 L 23/46  
25/04

ターコット\* (参考)

Z 5 F 0 3 6  
C

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平11-235059  
(22) 出願日 平成11年8月23日 (1999.8.23)  
(31) 優先権主張番号 特願平10-267712  
(32) 優先日 平成10年9月22日 (1998.9.22)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)  
(31) 優先権主張番号 特願平10-267713  
(32) 優先日 平成10年9月22日 (1998.9.22)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)  
(31) 優先権主張番号 特願平10-352797  
(32) 優先日 平成10年12月11日 (1998.12.11)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006264  
三菱マテリアル株式会社  
東京都千代田区大手町1丁目5番1号  
(72) 発明者 長瀬 敏之  
埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
マテリアル株式会社総合研究所内  
(72) 発明者 長友 義幸  
埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
マテリアル株式会社総合研究所内  
(74) 代理人 100085372  
弁理士 須田 正義

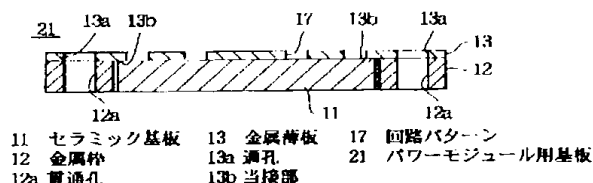
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パワーモジュール用基板及びその製造方法並びにこの基板を用いた半導体装置

(57) 【要約】

【課題】セラミック基板を損傷させることなく半導体素子等から水冷式ヒートシンクまでの伝達経路を短くして半導体素子からの熱を有効に放散する。

【解決手段】パワーモジュール用基板は、回路パターン17が形成されたセラミック基板11と、この基板を水冷式ヒートシンクに接合可能な金属棒12とを備える。金属棒はセラミック基板又は回路パターンを含むセラミック基板の厚さと同厚さを有しかつ複数の貫通孔12aが形成される。貫通孔に連通する通孔13aを有しかつセラミック基板11の表面周囲の一部又は全部に下面が当接する当接部13bを含む金属薄板13が金属棒の表面に配置される。半導体装置は、回路パターンに半導体素子23が搭載され、通孔及び貫通孔に雄ねじ26が挿通され、雄ねじを水冷式ヒートシンク27の雌ねじ27aに螺合することによりパワーモジュール用基板21が水冷式ヒートシンク27に直接接合される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 表面に回路パターン(17, 111a)が形成されたセラミック基板(11, 111)と、

前記セラミック基板(11, 111)の周囲に設けられ前記セラミック基板(11, 111)を水冷式ヒートシンク(27)に接合可能に構成された金属棒(12, 62, 72, 112)とを備えたパワーモジュール用基板。

【請求項2】 金属棒(12)がセラミック基板(11)又は回路パターン(17)を含む前記セラミック基板(11)の厚さと同一厚さを有しかつ複数の貫通孔(12a)が前記セラミック基板(11)を挟むように形成され、

前記貫通孔(12a)に連通する通孔(13a)を有しかつ前記セラミック基板(11)又は前記回路パターン(17)の表面周囲の一部又は全部に下面が当接する当接部(13b)を含む金属薄板(13)が前記金属棒(12)の表面に配置され、

前記通孔(13a)及び貫通孔(12a)に雄ねじ(26)を挿通して前記雄ねじ(26)を水冷式ヒートシンク(27)に形成された雌ねじ(27a)又は前記水冷式ヒートシンク(27)に貫通して形成された取付孔(27c)に更に挿通してナット(31)に螺合することにより、前記当接部(13b)の下面に当接する前記回路パターン(17)が形成されたセラミック基板(11)を前記水冷式ヒートシンク(27)に接合するように構成された請求項1記載のパワーモジュール用基板。

【請求項3】 金属棒(62)がセラミック基板(11)又は回路パターン(17)を含む前記セラミック基板(11)の厚さより厚い厚さを有しかつ複数の貫通孔(62a)が前記セラミック基板(11)を挟むように形成され、

前記貫通孔(62a)に連通する通孔(63a)を有しかつ前記セラミック基板(11)又は前記回路パターン(17)の表面周囲の一部又は全部に下面が対向する対向部(63b)を含む金属薄板(63)が前記金属棒(62)の表面に配置され、

前記セラミック基板(11)又は前記回路パターン(17)を含む前記セラミック基板(11)の厚さと前記金属棒(62)の厚さの差と同一又はこの差より僅かに厚い厚さを有する弾性体(64)が前記セラミック基板(11)又は前記回路パターン(17)の表面と前記対向部(63b)との間に介装され、前記通孔(63a)及び貫通孔(62a)に雄ねじ(26)を挿通して前記雄ねじ(26)を水冷式ヒートシンク(27)に形成された雌ねじ(27a)又は前記水冷式ヒートシンク(27)に貫通して形成された取付孔に更に挿通してナットに螺合することにより、前記対向部(63b)の下面に前記弾性体(64)を介して当接する前記回路パターン(17)が形成されたセラミック基板(11)を前記水冷式ヒートシンク(27)に接合するように構成された請求項1記載のパワーモジュール用基板。

【請求項4】 弾性体(64)の上下両面が耐熱性接着剤(66)によりセラミック基板(11)又は回路パターン(17)の表面と対向部(63b)の表面にそれぞれ接着された請求項3記載のパワーモジュール用基板。

【請求項5】 弾性体(64)が方形形状の横断面を有し、前

記横断面の幅をXとし前記弾性体(64)の厚さをYとするとき、 $Y/X$ の値が0.08より大きい請求項3又は4記載のパワーモジュール用基板。

【請求項6】 セラミック基板(11)が裏面に接着された金属泊(11a)を有し、前記セラミック基板(11)を水冷式ヒートシンク(27)に接合した前記金属泊(11a)の前記水冷式ヒートシンク(27)に対する面圧をPとし、前記金属泊(11a)と前記水冷式ヒートシンク(27)との間の摩擦係数を $\mu$ とするとき、 $\mu P \leq 1.0$  (MPa)の関係を有する請求項3ないし5いずれか記載のパワーモジュール用基板。

【請求項7】 金属棒(72)がセラミック基板(11)の周囲の一部又は全部に設けられ前記セラミック基板(11)の厚さと同一又は僅かに薄い厚さを有しかつ複数の貫通孔(72a)が前記セラミック基板(11)を挟むように形成され、

前記貫通孔(72a)に連通する第1通孔(73a)を有しかつ前記セラミック基板(11)に対面する部分に回路パターン(77)が形成された第1金属薄板(73)が前記セラミック基板(11)及び前記金属棒(72)の表面にろう材(76)を介して接着され、

前記貫通孔(72a)及び前記第1通孔(73a)に連通する第2通孔(74a)を有しかつ水冷式ヒートシンク(27)に対面する第2金属薄板(74)が前記セラミック基板(11)及び前記金属棒(72)の裏面にろう材(76)を介して接着され、

前記第1通孔(73a)、貫通孔(72a)及び第2通孔(74a)に雄ねじを挿通して前記雄ねじ(26)を前記水冷式ヒートシンク(27)に形成された雌ねじ(27a)又は前記水冷式ヒートシンク(27)に貫通して形成された取付孔(27c)に更に挿通してナット(31)に螺合することにより前記水冷式ヒートシンク(27)に接合するように構成された請求項1記載のパワーモジュール用基板。

【請求項8】 金属棒(112)がセラミック基板(111)の周囲の全部又は一部に固着され複数の貫通孔(112a)が前記セラミック基板(111)を挟むように形成され、

通孔(116c)を有する筒部(116a)と前記金属棒(112)の上面に当接するフランジ部(116b)が一体的に形成されたカラー(116)が前記貫通孔(112a)に遊挿され、

弾性体(117)が前記フランジ部(116b)と前記金属棒(112)の上面との間に介装され、

前記通孔(116c)に雄ねじ(26)を挿通して前記雄ねじを水冷式ヒートシンク(27)に形成された雌ねじ(27a)又は前記水冷式ヒートシンク(27)に貫通して形成された取付孔(27c)に更に挿通してナット(31)に螺合し、前記金属棒が固着された前記セラミック基板(111)を前記水冷式ヒートシンク(27)に接合するように構成された請求項1記載のパワーモジュール用基板。

【請求項9】 金属棒(112)がセラミック基板(111)の周囲の全部又は一部に固着され複数の挿通孔(112b)が前記セラミック基板(111)を挟むように形成され、

前記挿通孔(112b)に連通する連通孔(118a)を有するワッ

シャ(118)が前記金属棒(112)の上面に配置され、  
前記ワッシャ(118)と前記金属棒(112)の上面との間に弾性体(117)が介装され、  
前記連通孔(118a)に挿通された雄ねじ(26)を前記挿通孔(112b)に逆挿して水冷式ヒートシンク(27)に形成された雌ねじ(27a)又は前記水冷式ヒートシンク(27)に貫通して形成された取付孔(27c)に更に挿通してナット(31)に螺合し、前記金属棒(112)が固着された前記セラミック基板(111)を前記水冷式ヒートシンク(27)に接合するように構成された請求項1記載のパワーモジュール用基板。

【請求項10】 金属棒(112)がセラミック基板(111)にろう付又は溶接により部分的に又は全面的に固着された請求項8又は9記載のパワーモジュール用基板。

【請求項11】 セラミック基板(11,111)が0.2mm以上3.5mm以下の厚さである請求項2ないし10のいずれか記載のパワーモジュール用基板。

【請求項12】 セラミック基板(11)の周囲の一部又は全部に前記セラミック基板(11)の厚さと同一又は僅かに薄い厚さを有する金属棒(72)を設ける工程と、  
前記セラミック基板(11)及び前記金属棒(72)の表面にろう材(76)を介して第1及び第2金属薄板(73,74)を接合して前記セラミック基板(11)及び前記金属棒(72)を一体化する工程と、  
前記第1金属薄板(73)の前記セラミック基板(11)に対応する部分に回路パターン(77)を形成する工程と、  
前記第1金属薄板(73)、前記金属棒(72)及び前記第2金属薄板(74)にこれらを貫通する第1通孔(73a)、貫通孔(72a)及び第2通孔(74a)をそれぞれ形成する工程を含むパワーモジュール用基板の製造方法。

【請求項13】 請求項2ないし6のいずれか記載のパワーモジュール用基板(21,61)の回路パターン(17)に半導体素子(23)が搭載され、  
前記パワーモジュール用基板(21,61)の表面に端子(24)が内周面に設けられた枠部材(25)が前記半導体素子(23)を包囲するように接合され、  
前記端子(24)と前記半導体素子(23)とが接続されて絶縁性ゲル(29)が充填され、  
前記枠部材(25)の上面に蓋板(25a)が接合され、  
前記パワーモジュール用基板(21,61)の金属薄板(13,63)及び金属棒(12,62)の通孔(13a,63a)及び貫通孔(12a,62a)に雄ねじ(26)が挿通され、  
前記雄ねじ(26)を水冷式ヒートシンク(27)に形成された雌ねじ(27a)又は前記水冷式ヒートシンク(27)に貫通して形成された取付孔(27c)に更に挿通してナットに螺合することにより前記パワーモジュール用基板(21,61)が前記水冷式ヒートシンク(27)に直接接合された半導体装置。

【請求項14】 水冷式ヒートシンク(27)が水路(27b)を有するヒートシンク本体(27d)とこの水路(27b)を封止可能なヒートシンク蓋(27c)とにより構成され、

請求項2ないし6のいずれか記載のパワーモジュール用基板(21)の回路パターン(17)に半導体素子(23)が搭載され、

前記パワーモジュール用基板(21)の金属薄板(13)及び金属棒(12)の通孔(13a)及び貫通孔(12a)に雄ねじ(26)が挿通され、

前記雄ねじ(26)を前記ヒートシンク蓋(27c)に形成された雌ねじ(27a)に螺合することにより前記パワーモジュール用基板(21,61)が前記ヒートシンク蓋(27c)に直接接合され、

前記ヒートシンク蓋(27c)の表面に端子(24)が内周面に設けられた枠部材(25)が前記パワーモジュール用基板(21,61)を包囲するように接合され、

前記端子(24)と前記半導体素子(23)とが接続されて絶縁性ゲル(29)が充填され、

前記枠部材(25)の上面に蓋板(25a)が接合され、

前記ヒートシンク蓋(27c)を前記ヒートシンク本体(27d)にネジ止めするように構成された半導体装置。

【請求項15】 請求項7記載のパワーモジュール用基板(81)の第1金属薄板(73)に形成された回路パターン(77)に半導体素子(23)が搭載され、

前記パワーモジュール用基板(81)の表面に端子(24)が内周面に設けられた枠部材(25)が前記半導体素子(23)を包囲するように接合され、

前記端子(24)と前記半導体素子(23)とが接続されて絶縁性ゲル(29)が充填され、

前記枠部材(25)の上面に蓋板(25a)が接合され、

前記パワーモジュール用基板(81)が雄ねじ(26)により水冷式ヒートシンク(27)に直接接合された半導体装置。

【請求項16】 請求項8又は9記載のパワーモジュール用基板(110,120)の回路パターン(111a)に半導体素子(23)が搭載され、

端子(24)が内周面に設けられた枠部材(25)が前記パワーモジュール用基板の表面に前記半導体素子(23)を包囲するように接合され、

前記端子(24)と前記半導体素子(23)とが接続されて絶縁性ゲル(29)が充填され、

前記枠部材(25)の上面に蓋板(25a)が接合され、

請求項8記載のカラー(116)の通孔(116c)又は請求項9記載のワッシャ(118)及び金属棒(112)の連通孔(118a)及び挿通孔(112b)に雄ねじ(26)が挿通され、

前記雄ねじ(26)を水冷式ヒートシンク(27)に形成された雌ねじ(27a)又は前記水冷式ヒートシンク(27)に貫通して形成された取付孔(27c)に更に挿通してナット(31)に螺合することにより前記パワーモジュール用基板(110,120)が前記水冷式ヒートシンク(27)に直接接合された半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、熱を放散するパワ

ーモジュールに使用されるパワーモジュール用基板及びその製造方法並びにこの基板を用いた半導体装置に関する。更に詳しくは、雄ねじにより水冷式ヒートシンクに直接接合するように構成されたパワーモジュール用基板及びその製造方法並びにこの基板を用いた半導体装置に関するものである。

#### 【0002】

【従来の技術】この種のパワーモジュール用基板として、図22に示すように、セラミック基板1がAlNにより形成され、このセラミック基板1の両面に第1及び第2銅板2、3が積層接着され、Cuにより形成されたヒートシンク4の上面にNiめっきが形成され、更にヒートシンク4が第2銅板3にはんだ6を介して積層接着されたものが知られている。この基板に半導体素子7が搭載された半導体装置では発熱量が比較的多いため、内部に冷却水8aを循環させることにより強制的に熱を外部に伝達する水冷式ヒートシンク8に接合される。パワーモジュール用基板の水冷式ヒートシンク8への接合はヒートシンク4に取付孔4aを形成してこの取付孔4aに雄ねじ9を挿通し、この雄ねじ9を水冷式ヒートシンク8に形成された雌ねじ8bに螺合することにより行う。このように接合された半導体装置では、半導体素子等が発した熱は第1銅板2、セラミック基板1、第2銅板3、はんだ6及びヒートシンク4を介して水冷式ヒートシンク8により外部に放散されるようになっている。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来の半導体装置では、半導体素子等7から水冷式ヒートシンク8までの熱の伝達経路が比較的長く、特に熱伝導率の低いはんだ6を介してヒートシンク8に第2銅板3を積層接着すること起因して半導体素子7からの発熱を有効に水冷式ヒートシンク8まで伝達して放散させることができない不具合がある。この点を解消するために、図21に示すように、ヒートシンクを設けることなくセラミック基板1に直接取付孔1aを形成し、この取付孔1aに雄ねじ9を挿通して水冷式ヒートシンク8に形成された雌ねじ8bに螺合して接合し、半導体素子7から水冷式ヒートシンク8までの熱の伝達経路を短くすることが考えられる。

【0004】しかし、焼成後の基板1は固くて脆いため、セラミック基板を焼成した後に取付孔1aを形成することは困難である問題点がある。また、焼成前に取付孔1aを形成し、その後セラミック基板1を焼成することは、焼成時における収縮から取付孔1aのピッチを正確に出せない問題点がある。仮に、取付孔1aを正確に形成できたとしても、セラミック基板1のもろさから水冷式ヒートシンク8に接合する際の雄ねじ9の締結力によりセラミック基板1に亀裂が入るおそれもある。本発明の目的は、セラミック基板を損傷させることなく半導体素子から水冷式ヒートシンクまでの伝達経路を短くし

て半導体素子からの熱を有効に放散し得るパワーモジュール用基板及びその製造方法並びにこの基板を用いた半導体装置を提供することにある。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、図1及び図6に示すように、表面に回路パターン17が形成されたセラミック基板11と、そのセラミック基板11の周囲に設けられセラミック基板11を水冷式ヒートシンク27に接合可能に構成された金属棒12とを備えたパワーモジュール用基板である。請求項1に係るパワーモジュール用基板では、金属棒12を介してセラミック基板11を水冷式ヒートシンク27に接合するので、セラミック基板11に直接外力が加わることはなく、接合に起因するセラミック基板11の破損を防止して、回路パターン17に搭載された半導体素子からの熱を水冷式ヒートシンク27に有効に伝達して放散する。セラミック基板11はAlN、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>又はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により形成することが好ましい。セラミック基板11としてAlNを用いると熱伝導率及び耐熱性が向上し、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を用いると強度及び耐熱性が向上し、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いると耐熱性が向上する。

【0006】請求項2に係る発明は、請求項1に係る発明であって、金属棒12がセラミック基板11又は回路パターン17を含むセラミック基板11の厚さと同一厚さを有しかつ複数の貫通孔12aがセラミック基板11を挟むように形成され、貫通孔12aに連通する通孔13aを有しかつセラミック基板11又は回路パターン17の表面周囲の一部又は全部に下面が当接する当接部13bを含む金属薄板13が金属棒12の表面に配置され、通孔13a及び貫通孔12aに雄ねじ26を挿通して雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合することにより、当接部13bの下面に当接する回路パターン17が形成されたセラミック基板11を水冷式ヒートシンク27に接合するように構成されたパワーモジュール用基板である。

【0007】請求項2に係るパワーモジュール用基板では、金属棒12及びその金属棒12の表面に接着された金属薄板13に貫通孔12a及び通孔13aが形成されるので、この通孔13a及び貫通孔12aに雄ねじ26を挿通して水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a（図2(C)）又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31（図6）に螺合しても、雄ねじ26の締結力がセラミック基板11に直接加わることはなく、雄ねじ26の締結力に起因するセラミック基板11の破損を防止して、回路パターン17に搭載された半導体素子からの熱を水冷式ヒートシンク27に有効に伝達して放散する。

【0008】金属棒12及びその金属棒12の表面に配

7

置された金属薄板13にセラミック基板11に比較して機械加工が比較的容易なものを使用し、これらの金属薄板13及び金属棒12に穿孔13a及び貫通孔12aを貫通してそれぞれ形成することにより、パワーモジュール用基板に容易にかつ正確な取付ピッチで取付孔を形成することができる。

【0009】請求項3に係る発明は、請求項1に係る発明であって、図8に示すように、金属棒62がセラミック基板11又は回路パターン17を含むセラミック基板11の厚さより厚い厚さを有しかつ複数の貫通孔62aがセラミック基板11を挟むように形成され、貫通孔62aに連通する穿孔63aを有しかつセラミック基板11又は回路パターン17の表面周囲の一部又は全部に下面が対向する対向部63bを含む金属薄板63が金属棒62の表面に配置され、セラミック基板11又は回路パターン17を含むセラミック基板11の厚さと金属棒62の厚さの差と同一又はこの差より僅かに厚い厚さを有する弾性体64がセラミック基板11又は回路パターン17の表面と対向部63bとの間に介装され、穿孔63a及び貫通孔62aに雄ねじ26を挿通して雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンクに貫通して形成された取付孔に更に挿通してナットに螺合することにより、対向部63bの下面に弾性体64を介して当接する回路パターン17が形成されたセラミック基板11を水冷式ヒートシンク27に接合するように構成されたパワーモジュール用基板である。

【0010】請求項3に係るパワーモジュール用基板では、雄ねじ26の締結力に起因するセラミック基板11の破損を防止して、回路パターン17に搭載された半導体素子からの熱を水冷式ヒートシンク27に有効に伝達するとともに、セラミック基板11又は回路パターン17の表面と対向部63bとの間に介装された弾性体64は、膨張又は収縮により生じるセラミック基板11と水冷式ヒートシンク27との取付誤差をその弾性により吸収し、温度変化に起因するセラミック基板11の破損を防止する。

【0011】請求項4に係る発明は、請求項3に記載された発明であって、弾性体64の上下両面が耐熱性接着剤66によりセラミック基板11又は回路パターン17の表面と対向部63bの表面にそれぞれ接着されたパワーモジュール用基板である。請求項4に係るパワーモジュール用基板では、セラミック基板11又は回路パターン17の表面と対向部63bとの間に介装された弾性体64が接着されることにより、使用環境下における振動等により移動しなくなり、対向部63bの下面に弾性体64を介して当接する回路パターン17が形成されたセラミック基板11を有効に水冷式ヒートシンク27に接合する。

【0012】請求項5に係る発明は、請求項3又は4に

8

かかる発明であって、弾性体64が方形状の横断面を有し、横断面の幅をXとし弾性体64の厚さをYとすると、 $Y/X$ の値が0.08より大きいパワーモジュール用基板である。請求項6に係る発明は、請求項3ないし5いずれかにかかる発明であって、セラミック基板11が裏面に接着された金属箔11aを有し、セラミック基板11を水冷式ヒートシンク27に接合した金属箔11aの水冷式ヒートシンク27に対する面圧をPとし、金属箔11aと水冷式ヒートシンク27との間の摩擦係数を $\mu$ とすると、 $\mu P \leq 10$  (MPa) の関係を有するパワーモジュール用基板である。この請求項5及び6にかかる発明では熱膨張によるセラミック基板11の水平方向の変位を可能にし、そのセラミック基板11の破損を防止する。

【0013】請求項7に係る発明は、請求項1に係る発明であって、図9及び図13に示すように、金属棒72がセラミック基板11の周囲の一部又は全部に設けられセラミック基板11の厚さと同一又は僅かに薄い厚さを有しかつ複数の貫通孔72aがセラミック基板11を挟むように形成され、貫通孔72aに連通する第1穿孔73aを有しかつセラミック基板11に対面する部分に回路パターン77が形成された第1金属薄板73がセラミック基板11及び金属棒72の表面にろう材76を介して接着され、貫通孔72a及び第1穿孔73aに連通する第2穿孔74aを有しかつ水冷式ヒートシンク27に対面する第2金属薄板74がセラミック基板11及び金属棒72の裏面にろう材76を介して接着され、第1穿孔73a、貫通孔72a及び第2穿孔74aに雄ねじを挿通して雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合して水冷式ヒートシンク27に接合するように構成されたパワーモジュール用基板である。

【0014】請求項7に係るパワーモジュール用基板では、セラミック基板11と一体化された金属棒72及びその金属棒72の表面及び裏面に接着された第1及び第2金属薄板73、74に第1穿孔73a、貫通孔72a及び第2穿孔74aが形成されるので、この第1穿孔73a、貫通孔72a及び第2穿孔74aに雄ねじ26を挿通して水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合しても、雄ねじ26の締結力がセラミック基板11に直接加わることはなく、雄ねじ26の締結力に起因するセラミック基板11の破損を防止して、回路パターン77に搭載された半導体素子からの熱を水冷式ヒートシンクに有効に伝達する。

【0015】請求項8に係る発明は、請求項1に係る発明であって、図14及び図19に示すように、金属棒112がセラミック基板111の周囲の全部又は一部に固

着され複数の貫通孔112aがセラミック基板111を挟むように形成され、通孔116cを有する筒部116aと金属棒112の上面に当接するフランジ部116bが一体的に形成されたカラー116が貫通孔112aに遊挿され、弾性体117がフランジ部116bと金属棒112の上面との間に介装され、通孔116cに雄ねじ26を挿通して雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合し、金属棒112が固着されたセラミック基板111を水冷式ヒートシンク27に接合するように構成されたパワーモジュール用基板である。

【0016】請求項9に係る発明は、請求項1に係る発明であって、図16に示すように、金属棒112がセラミック基板111の周囲の全部又は一部に固着され複数の挿通孔112aがセラミック基板111を挟むように形成され、挿通孔112bに連通する連通孔118aを有するワッシャ118が金属棒112の上面に配置され、ワッシャ118と金属棒112の上面との間に弾性体117が介装され、連通孔118aに挿通された雄ねじ26を挿通孔112bに遊挿して水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔に更に挿通してナットに螺合し、金属棒112が固着されたセラミック基板111を水冷式ヒートシンク27に接合するように構成されたパワーモジュール用基板である。

【0017】請求項8又は9に係るパワーモジュール用基板では、セラミック基板111に固着された金属棒112に貫通孔112a又は挿通孔112bを形成するので、図21に示すセラミック基板1に直接取付孔1aを形成する場合に比較して容易かつ正確なピッチで貫通孔112a又は挿通孔112bを形成する。また、このような貫通孔112a又は挿通孔112bを使用して雄ねじ26によりセラミック基板111を水冷式ヒートシンク27に接合しても、雄ねじ26の締結力がセラミック基板111に直接加わることはなく、雄ねじ26の締結力に起因するセラミック基板111の破損を防止して、回路パターン111aに搭載された半導体素子23からの熱を水冷式ヒートシンク27に有効に伝達する。

【0018】更に、カラー116又はワッシャ118と金属棒112の上面との間に介装された弾性体117は、膨張又は収縮により生じるセラミック基板111と水冷式ヒートシンク27との取付誤差をその弾性により吸収し、温度変化に起因するセラミック基板111の破損を防止する。請求項10に係る発明は、請求項8又は9記載の発明であって、金属棒112がセラミック基板111にろう付又は溶接により部分的に又は全面的に固着されたパワーモジュール用基板である。この請求項10に係る発明では、ろう付又は溶接により固着することにより、金属棒112を容易かつ確実にセラミック基板

111に固着する。

【0019】請求項11に係る発明は、請求項2ないし10いずれかに係る発明であって、セラミック基板11が0.2mm以上3.5mm以下の厚さであるパワーモジュール用基板である。セラミック基板11が0.2mm未満であると、雄ねじ26を螺合することにより金属棒を介して水冷式ヒートシンク27にセラミック基板を接合しても、その雄ねじ26の締結力に起因してセラミック基板11が破損するおそれがあり、セラミック基板11が3.5mmを越えるとセラミック基板11自体の機械的強度が増加し、雄ねじで水冷式ヒートシンク27に直接接合することが可能になる。

【0020】請求項12に係る発明は、図9に示すように、セラミック基板11の周囲の一部又は全部にセラミック基板11の厚さと同じ又は僅かに薄い厚さを有する金属棒72を設ける工程と、セラミック基板11及び金属棒72の表面にろう材76を介して第1及び第2金属薄板73、74を接着してセラミック基板11及び金属棒72を一体化する工程と、第1金属薄板73のセラミック基板11に対応する部分に回路パターン77を形成する工程と、第1金属薄板73、金属棒72及び第2金属薄板74にこれらを貫通する第1通孔73a、貫通孔72a及び第2通孔74aをそれぞれ形成する工程とを含むパワーモジュール用基板の製造方法である。請求項12に係るパワーモジュール用基板の製造方法では、セラミック基板11と一体化された金属棒72及びその金属棒72の表面及び裏面に接着された第1及び第2金属薄板73、74はセラミック基板11に比較して機械加工が比較的容易であり、これらの第1金属薄板73、金属棒72及び第2金属薄板74に第1通孔73a、貫通孔72a及び第2通孔74aを貫通してそれぞれ形成することにより、パワーモジュール用基板に容易にかつ正確な取付ピッチで取付孔を形成する。

【0021】請求項13に係る発明は、図2に示すように、請求項2ないし6いずれか記載のパワーモジュール用基板21の回路パターン17に半導体素子23が搭載され、パワーモジュール用基板21の表面に端子24が内周面に設けられた棒部材25が半導体素子23を包囲するように接着され、端子24と半導体素子23とが接続されて絶縁性ゲル29が充填され、棒部材25の上面に蓋板25aが接着され、パワーモジュール用基板21の金属薄板13及び金属棒12の通孔13a及び貫通孔12aに雄ねじ26が挿通され、雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された図示しない取付孔に更に挿通してナットに螺合することによりパワーモジュール用基板21が水冷式ヒートシンク27に直接接合された半導体装置である。請求項13に係る発明では、水冷式ヒートシンク27に直接接合されたパワーモジュール用基板21の回路パターン17に搭載された半導体

素子23から水冷式ヒートシンク27までの熱の伝達経路は、図22に示す従来の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は従来に比較してより有効に水冷式ヒートシンク27に伝達されて外部に放散される。

【0022】請求項14に係る発明は、図7に示すように、水冷式ヒートシンク27が水路27bを有するヒートシンク本体27dとこの水路27bを封止可能なヒートシンク蓋27eとにより構成され、請求項2ないし6いずれか記載のパワーモジュール用基板21の回路パターン17に半導体素子23が搭載され、このパワーモジュール用基板21の金属薄板13及び金属棒12の通孔13a及び貫通孔12aに雄ねじ26が挿通され、この雄ねじ26をヒートシンク蓋27eに形成された雌ねじ27fに螺合することによりパワーモジュール用基板21がヒートシンク蓋27eに直接接合され、ヒートシンク蓋27eの表面に端子24が内周面に設けられた枠部材25がパワーモジュール用基板21を包囲するように接着され、端子24と半導体素子23とが接続されて絶縁性ゲル29が充填され、枠部材25の上面に蓋板25aが接着され、ヒートシンク蓋27eをヒートシンク本体27dにネジ止めするように構成された半導体装置である。

【0023】請求項14に係る発明であっても、半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの伝達経路は従来の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は有効に水冷式ヒートシンク27に伝達されて外部に放散される。特に、この請求項14に係る発明では、予めヒートシンク蓋27eにパワーモジュール用基板21等が搭載されるので、ヒートシンク蓋27eをヒートシンク本体27dにネジ止めするだけの簡単な作業で半導体装置を得ることができる。

【0024】請求項15に係る発明は、図10に示すように、請求項7記載のパワーモジュール用基板81の第1金属薄板73に形成された回路パターン77に半導体素子23が搭載され、パワーモジュール用基板81の表面に端子24が内周面に設けられた枠部材25が半導体素子23を包囲するように接着され、端子24と半導体素子23とが接続されて絶縁性ゲル29が充填され、枠部材25の上面に蓋板25aが接着され、パワーモジュール用基板81が雄ねじ26により水冷式ヒートシンク27に直接接合された半導体装置である。請求項15に係る発明では、水冷式ヒートシンク27に直接接合された請求項7のパワーモジュール用基板の回路パターン77に搭載された半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの伝達経路は、図22に示す従来の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は従来に比較して水冷式ヒートシンク27により有効に外部に放散される。

【0025】請求項16に係る発明は、図14、図16、図19及び図20に示すように、請求項8ないし10いずれか記載のパワーモジュール用基板110、12

0の回路パターン111aに半導体素子23が搭載され、パワーモジュール用基板110、120の表面に端子24が内周面に設けられた枠部材25が半導体素子23を包囲するように接着され(図20)、端子24と半導体素子23とが接続されて絶縁性ゲル29が充填され、枠部材25の上面に蓋板25aが接着され、請求項8記載のカラー116の通孔116c(図14)又は請求項9記載のワッシャ118及び金属棒112の連通孔118a及び挿通孔112b(図16)に雄ねじ26が挿通され、雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a(図20)又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31(図19)に螺合することによりパワーモジュール用基板110、120が水冷式ヒートシンク27に直接接合された半導体装置である。

【0026】請求項16に係る発明では、水冷式ヒートシンク27に直接接合されたパワーモジュール用基板110、120の回路パターン111aに搭載された半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの熱の伝達経路は、図22に示す従来の熱の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は従来に比較してより有効に水冷式ヒートシンク27に伝達されて外部に放散される。

【0027】

【発明の実施の形態】次に本発明の第1の実施の形態を図面に基いて詳しく説明する。図1に示すように、本発明のパワーモジュール用基板は表面に回路パターン17が形成されたセラミック基板11と金属棒12と金属薄板13とを備える。セラミック基板11は0.635mmの厚さを有し、回路パターン17はセラミック基板11に接着された図示しない金属箔をエッチング加工することにより作られる。セラミック基板11への金属箔の接着は、金属箔がCuにより形成され、セラミック基板11が $\text{Al}_2\text{O}_3$ により形成される場合には、セラミック基板11及び金属箔との間にろう材である $\text{Ag-Cu-Ti}$ ろう材の箔を挟んだ状態で重ね合せ、これらに荷重0.5~2kgf/cm<sup>2</sup>を加え、真空中で800~900℃に加熱する活性金属法により行われる。金属箔がCuにより形成され、セラミック基板11がAlNにより形成される場合も上記と同様の活性金属法によりセラミック基板11に金属箔が接着される。

【0028】また、金属箔がAlにより形成され、セラミック基板11が $\text{Al}_2\text{O}_3$ 又はAlNにより形成される場合には、金属箔はAl純度が99.98重量%以上であって、融点が660℃のものが使用される。金属箔はこの金属箔より融点が低いAl-Si系ろう材を介して積層接着される。即ち、Al-Si系ろう材は84~97重量%のAlと3~15重量%のSiを含み、このろう材16の溶解温度範囲は570~650℃である。積層接着はセラミック基板11と金属箔との間にろう材であるAl-Si系ろう材の箔を挟んだ状態でこれらに荷重

## 13

0.5~2kgf/cm<sup>2</sup>を加え、真空中で600~650℃に加熱することにより、金属箔がセラミック基板11に接着される。このようにセラミック基板11に接着された金属箔はエッチング加工されて回路パターン17が作られる。

【0029】図1及び図3に示すように、金属棒12はセラミック基板11又は回路パターン17を含むセラミック基板11の厚さと同一厚さを有しセラミック基板11の周囲に設けられる。金属棒12はアルミニウム合金、ステンレス鋼、銅、チタン、コパル（Fe54%、Ni29%、Co17%）又は42アロイ（Fe58%、Ni42%）により作られる。図3に示すように、この実施の形態における金属棒12は、セラミック基板11の全周を包囲するように形成され、セラミック基板11と同一厚さを有する板材を打抜くことによりセラミック基板11の厚さと同一厚さに作られる。金属薄板13は金属棒12の上面に配置され、セラミック基板11の表面周囲の一部である基板11の両側に下面が当接する当接部13bを有する。金属薄板はステンレス鋼により作られ、金属薄板13及び金属棒12にはドリル等の加工工具を用いた機械加工によりこれらを通する

通孔13a及び貫通孔12aがセラミック基板11を挟むようにそれぞれ形成される。

【0030】このように構成されたパワーモジュール用基板21を用いた半導体装置を説明する。図2(a)に示すように、パワーモジュール用基板21に形成された回路パターン17に半導体素子23がはんだ23aにより搭載される。一方、金属棒12はセラミック基板11を包囲するように配置され、金属薄板13の当接部13bと回路パターン17付セラミック基板11との間、及び金属薄板13と金属棒12との間にそれぞれポリイミド系の耐熱性接着剤を塗布した後、金属薄板13が金属棒12の上に配置されて金属棒12、セラミック基板11及び金属薄板13は一体化する。図2(b)に示すように、一体化したセラミック基板11又は金属薄板13の表面には、端子24が内周面に設けられた棒部材25がその半導体素子23を包囲するように接着され、端子24は半導体素子23と接続線23bにより接続される。その後、図2(c)に示すように、棒部材25により包囲される空間にシリコングル29のような絶縁性ゲルを充填し、半導体素子23を封止した後、棒部材25の上面には蓋板25aが接着される。

【0031】次に、水冷式ヒートシンク27のパワーモジュール用基板21が取付けられる部分に応じてシリコン樹脂が塗布され、その上にセラミック基板11を配置する。金属薄板13の通孔13a及び金属棒12の貫通孔12aに雄ねじ26が挿通され、雄ねじ26は水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27aに螺合される。水冷式ヒートシンク27は内部に冷却水28が循環する水路27bが形成され、この水路27bに

## 14

冷却水28が循環することにより熱を外部に放散するように構成される。雄ねじ26により水冷式ヒートシンク17に取付けられた金属薄板13の当接部13bの下面には回路パターン17に半導体素子23が搭載されたセラミック基板11の上面が当接し、基板11は当接部13bに押えられて水冷式ヒートシンク27に直接接合され、図1に示す半導体装置が得られる。この半導体装置では、半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの伝達経路は、図22に示す従来の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は水冷式ヒートシンク27に有効に伝達されて外部に放散される。

【0032】なお、上述した実施の形態ではセラミック基板11の表面に下面が当接する当接部13bを含む金属薄板13を記載したが、図4に示すように、回路パターン17を含むセラミック基板11の厚さと同一厚さを有する金属棒12を使用することにより、当接部13bの下面が回路パターン17の表面に当接するようにしても良い。また、上述した実施の形態では金属薄板13がセラミック基板11の表面周囲の一部である基板11の両側に下面が当接するように当接部13bを形成したが、図5に示すように、回路パターンが形成されたセラミック基板11の全周を包囲するように金属薄板13を形成し、その基板11の表面周囲の全部に下面が当接する当接部13bを形成しても良い。また、上述した実施の形態では、表面にのみ回路パターン17が形成されたセラミック基板11を用い、金属薄板13の通孔13a及び金属棒12の貫通孔12aに雄ねじ26を挿通して水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a螺合したが、図6に示すように、セラミック基板11は裏面に金属箔11aを有していても良く、金属薄板13の通孔13a及び金属棒12の貫通孔12aに挿通された雄ねじ26は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合しても良い。

【0033】更に、上述した実施の形態では、棒部材25がパワーモジュール用基板21の表面に接着された半導体装置を示したが、図7に示すように、水冷式ヒートシンク27が水路27bを有するヒートシンク本体27dとこの水路27bを封止可能なヒートシンク蓋27eとにより構成されている場合には、棒部材25をヒートシンク蓋27eの表面にパワーモジュール用基板21を包囲するように接着しても良い。特に、比較的発熱量が多い小型の半導体素子23を搭載する小型のパワーモジュール用基板21を使用する半導体装置に適する。具体的に図7における半導体装置は、パワーモジュール用基板21の回路パターン17に半導体素子23が搭載され、このパワーモジュール用基板21の金属薄板13及び金属棒12の通孔13a及び貫通孔12aに雄ねじ26が挿通され、この雄ねじ26をヒートシンク蓋27eに形成された雌ねじ27fに螺合することによりパワー

10

20

30

40

50



モジュール用基板21がヒートシンク蓋27eに直接接合される。

【0034】端子24が内周面に設けられた枠部材25はヒートシンク蓋27eの表面にパワーモジュール用基板21を包囲するように接着され、端子24と半導体素子23とが接続されて絶縁性ゲル29が充填され、枠部材25の上面には蓋板25aが接着される。このようにパワーモジュール用基板21等が搭載されたヒートシンク蓋27eをヒートシンク本体27dにネジ止めすることにより半導体装置が得られる。この図7に示す半導体装置であっても半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの伝達経路は従来の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は有効に水冷式ヒートシンク27に伝達されて外部に放散される。特に、パワーモジュール用基板21等がヒートシンク蓋27eに予め搭載されるので、そのヒートシンク蓋27eをヒートシンク本体27dにネジ止めするだけの簡単な作業で半導体装置を得ることができる。

【0035】次に本発明の第2の実施の形態を図8に基づいて詳しく説明する。図面中上述した実施の形態と同一符号は同一部品を示し繰返しての説明を省略する。図8に示すように、この実施の形態のパワーモジュール用基板61は表面に回路パターン17が形成されたセラミック基板11と金属棒62と金属薄板63とを備える。金属棒62はセラミック基板11又は回路パターン17を含むセラミック基板11の厚さより厚い厚さを有しセラミック基板11の周囲に設けられる。金属棒62はアルミニウム合金、ステンレス鋼、銅、チタン、コバルト(Fe54%, Ni29%, Co17%)又は42アロイ(Fe58%, Ni42%)等から成る板材を打抜くことによりセラミック基板11の全周を包囲するように形成される。この金属棒62にはドリル等の加工工具を用いた機械加工によりこの金属棒62を貫通する貫通孔62aがセラミック基板11を挟むように形成される。

【0036】金属薄板63は金属棒62の上面に配置され、セラミック基板11又は回路パターン17の表面周囲の一部又は全部に下面が対向する対向部63bを有する。図における対向部63bは回路パターン17に対向する場合を示す。金属薄板63はステンレス鋼により作られ、金属薄板63にはドリル等の加工工具を用いた機械加工によりこの金属薄板63を貫通する通孔63a金属棒62の貫通孔62aに連通するように形成される。セラミック基板11又は回路パターン17の表面と対向部63bとの間には弾性体64が介装される。この実施の形態における弾性体64は、セラミック基板11又は回路パターン17を含むセラミック基板11の厚さと金属棒62の厚さの差と同一又はこの差より僅かに厚い厚さを有する合成ゴム板を打抜くことにより、弾性体64が方形の横断面を有するように作られる。この場合、弾性体64は横断面の幅をXとし弾性体64の厚さをY

とするとき、 $Y/X$ の値が、0.08より大きいように作られる。この弾性体64の上下両面は耐熱性接着剤によりセラミック基板11又は回路パターン17の表面と対向部63bの表面にそれぞれ接着される。

【0037】なお、セラミック基板11が裏面に接着された金属箔11aを有する場合には、セラミック基板11を水冷式ヒートシンク27に接合した際に、金属箔11aの水冷式ヒートシンク27に対する面圧Pが、金属箔11aと水冷式ヒートシンク27との間の摩擦係数 $\mu$ と $\mu P \leq 10$  (MPa)の関係を有するように、金属箔11aの表面及び水冷式ヒートシンク27の表面を調節することが好ましい。面圧Pと摩擦係数 $\mu$ が $\mu P \leq 10$  (MPa)であれば、熱膨張によるセラミック基板11の水平方向の変位が可能になり、そのセラミック基板11の破損を防止できるからである。

【0038】このように構成されたパワーモジュール用基板61を用いて半導体装置を得るには、まず、回路パターン17に半導体素子23を搭載し、金属棒62をその周囲に配置する。その後、金属薄板63の対向部63bとその対向部63bに対向する回路パターン17又はセラミック基板11の表面、及び弾性体64の上下両面にそれぞれポリイミド系の耐熱性接着剤を塗布した後、弾性体64を回路パターン17の表面周囲に配置して金属薄板63を金属棒62の上に配置する。これにより金属棒62、セラミック基板11、弾性体64及び金属薄板63は一体化する。その後、セラミック基板11の表面には、端子24が設けられた枠部材25が接着され、端子24は半導体素子23と接続線23bにより接続される。枠部材25により包囲される空間には絶縁性ゲル29を充填して半導体素子23を封止し、枠部材25の上面に蓋板25aを接着する。

【0039】次に、水冷式ヒートシンク27のパワーモジュール用基板61が取り付けられる部分に必要に応じてシリコン樹脂が塗布され、その上にセラミック基板11を配置する。金属薄板63の通孔63a及び金属棒62の貫通孔62aに雄ねじ26が挿通され、雄ねじ26は水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27aに螺合される。雄ねじ26により水冷式ヒートシンク17に取り付けられた金属薄板63の対向部63bの下面には弾性体64を介して回路パターン17の上面が当接し、基板11は弾性体64を介して対向部63bに押えられて水冷式ヒートシンク27に直接接合され、図8に示す半導体装置が得られる。この半導体装置では、半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの伝達経路は従来の伝達経路より短くなり、その熱を有効に放散する。

【0040】また、半導体素子23からの熱が伝達されることにより、セラミック基板11及び水冷式ヒートシンク27自体の温度は上昇してそれぞれが膨張する。ここでセラミック基板11の熱膨張係数は金属により作られた水冷式ヒートシンク27の熱膨張係数より一般的に

低い場合、雄ねじ27aに螺合された雄ねじ26の間隔は貫通孔62aの間隔より広がるけれども、その雄ねじ26の間隔の広がりや弾性体64がその弾性により吸収して許容する。即ち、弾性体64は膨張又は収縮により生じるセラミック基板11と水冷式ヒートシンク27との取付誤差をその弾性により吸収し、温度変化に起因するセラミック基板11の破損を防止する。

【0041】なお、上述した第2の実施の形態では、棒部材25がパワーモジュール用基板61の表面に接着され、雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27aに螺合した半導体装置を示したが、第1の実施の形態で説明したように、雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合しても良く（図6）、水冷式ヒートシンク27が水路27bを有するヒートシンク本体27dとこの水路27bを封止可能なヒートシンク蓋27eとにより構成されている場合には、棒部材25をヒートシンク蓋27eの表面にパワーモジュール用基板61を包囲するように接着しても良い（図7）。

【0042】次に本発明の第3の実施の形態を図9～図13に基づいて詳しく説明する。図面中上述した実施の形態と同一符号は同一部品を示し繰返しての説明を省略する。図9及び図13に示すように、この実施の形態におけるパワーモジュール用基板81は、セラミック基板11と、このセラミック基板11の周囲の全部に設けられセラミック基板11の厚さと同一又は僅かに薄い厚さを有しかつ貫通孔72aがセラミック基板11を挟むように形成された金属棒72と、セラミック基板11及び金属棒72の表面にろう材76を介して接着され貫通孔72aに連通する第1通孔73aを有しかつセラミック基板11に対面する部分に回路パターン77が形成された第1金属薄板73と、セラミック基板11及び金属棒72の裏面にろう材76を介して接着され貫通孔72a及び第1通孔73aに連通する第2通孔74aを有しかつ水冷式ヒートシンク22に對面する第2金属薄板74とを備える。

【0043】このパワーモジュール用基板81の製造方法を以下に説明する。

(a) セラミック基板の周囲への金属棒の配設

図9(a)及び図11に示すように、セラミック基板11は $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 、 $Si_3N_4$ 又は $SiC$ により形成され、金属棒72はアルミニウム合金、ステンレス鋼、チタン、コバルト（ $Fe54\%$ 、 $Ni29\%$ 、 $Co77\%$ ）又は42アイロイ（ $Fe58\%$ 、 $Ni42\%$ ）により作られる。図11に示すように、この実施の形態における金属棒72は、セラミック基板11の全周を包囲するように形成され、セラミック基板11と同一又は僅かに薄い厚さを有する板材を打抜くことによりセラミック基板11の厚さと同一厚さに作られる。

【0044】(b) 第1及び第2金属薄板のセラミック基

板及び金属棒への積層接着

第1及び第2金属薄板73、74はCu又はAlにより形成され、金属棒72と同一の外形を有するように形成される。第1及び第2金属薄板73、74がCuにより形成され、セラミック基板11が $Al_2O_3$ により形成される場合には金属棒72はステンレス鋼又は銅により作られ、図9(a)及び図11に示すように、セラミック基板11及び金属棒72と金属薄板との間にろう材である $Ag-Cu-Ti$ ろう材の箔を挟んだ状態で重ね合わせ、これらに荷重 $0.5 \sim 2 \text{ kgf/cm}^2$ を加え、真空中で $800 \sim 900^\circ\text{C}$ に加熱する活性金属法により、第1及び第2金属薄板73、74をセラミック基板11及び金属棒72に積層接着し、図9(b)に示すようにセラミック基板11及び金属棒72を一体化する。また、第1及び第2金属薄板73、74がCuにより形成され、セラミック基板11が $AlN$ により形成される場合にも金属棒72はステンレス鋼又は銅により作られ、上記と同様の活性金属法によりセラミック基板11及び金属棒72に第1及び第2金属薄板73、74を積層接着し、図9(b)に示すようにセラミック基板11及び金属棒72を一体化する。

【0045】更に、第1及び第2金属薄板73、74がAlにより形成され、セラミック基板11が $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 又は $Si_3N_4$ により形成される場合には、金属棒72はステンレス鋼又はアルミニウム合金により作られる。アルミニウム合金はAl純度が99.5重量%のものを使用し、第1及び第2金属薄板73、74はAl純度が99.98重量%以上であって、融点が $660^\circ\text{C}$ のものを使用することが好ましい。金属棒72には第1及び第2金属薄板73、74が金属棒72及び第1及び第2金属薄板73、74より融点が高いAl-Si系ろう材76を介して積層接着される。即ち、Al-Si系ろう材76は87～84重量%のAlと11～13.5重量%のSiを含み、このろう材76の溶解温度範囲は $570 \sim 590^\circ\text{C}$ である。積層接着はセラミック基板11と第1及び第2金属薄板73、74との間にろう材76であるAl-Si系ろう材の箔を挟んだ状態でこれらに荷重 $0.5 \sim 2 \text{ kgf/cm}^2$ を加え、真空中で $600 \sim 650^\circ\text{C}$ に加熱することにより、第1及び第2金属薄板73、74がセラミック基板11及び金属棒72に積層接着されて、図9(b)に示すようにセラミック基板11及び金属棒72は一体化される。

【0046】(c) 回路パターンを形成及び第1通孔、貫通孔及び第2通孔の形成

図9(c)に示すように、第1金属薄板73のセラミック基板11に對面する部分にはエッチング法により所定の回路パターン77が形成される。第1金属薄板73、金属棒72及び第2金属薄板74にはドリル78を用いた機械加工が行われ、図9(d)に示すように、これらを貫通する第1通孔73a、貫通孔72a及び第2通孔

74aがセラミック基板11を挟むようにそれぞれ形成されてパワーモジュール用基板81が作られる。

#### 【0047】(d) 半導体装置

図10(a)に示すように、パワーモジュール用基板81の第1金属薄板73に形成された回路パターン77に半導体素子23がはんだ23aにより搭載される。一方、図10(b)に示すように、パワーモジュール用基板81の表面には端子24が内周面に設けられた枠部材25がその半導体素子23を包囲するように接着され、端子24は半導体素子23と接続線23bにより接続される。その後、図10(c)に示すように、枠部材25により包囲される空間にシリコンゲル29のような絶縁性ゲルを充填し、半導体素子23を封止した後、枠部材25の上面には蓋板25aが接着される。このように半導体素子23が搭載されたパワーモジュール用基板81の第1通孔73a、貫通孔72a及び第2通孔74aに雄ねじ26を挿通し、この雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27aに螺合する。水冷式ヒートシンク27は内部に冷却水28が循環する水路27bが形成され、この水路27bに冷却水28が循環することにより熱を外部に放散するように構成され、パワーモジュール用基板81は雄ねじ26により水冷式ヒートシンク27に直接接合される。パワーモジュール用基板81の回路パターン77に搭載された半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの伝達経路は、図22に示す従来の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は水冷式ヒートシンク27に有効に伝達されて外部に放散される。

【0048】なお、上述した実施の形態では金属棒72をセラミック基板11の全周を包囲するように形成したが、図12に示すように、セラミック基板11の周囲の一部である基板11の両側にそのセラミック基板11を挟むように金属棒72を設けてもよい。また、上述した実施の形態では、雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27aに螺合して、パワーモジュール用基板81を雄ねじ26により水冷式ヒートシンク27に直接接合したが、図13に示すように、パワーモジュール用基板81は、水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに雄ねじ26を更に挿通してナット31に螺合し、水冷式ヒートシンク27に直接接

合しても良い。  
【0049】次に本発明の第4の実施の形態を図面に基づいて詳しく説明する。図14及び図15に示すように、本発明のパワーモジュール用基板110は表面に回路パターン111aが形成されたセラミック基板111と金属棒112とを備える。回路パターン111aは第1の実施の形態と同様に作られ、金属棒112は枠本体113とにより構成され、枠本体113はセラミック基板111又は回路パターン111aを含むセラミック基板111の厚さと同じ厚さを有する金属を加工すること

により作られる。枠本体113を構成する金属としては、アルミニウム合金、ステンレス鋼、銅、チタン、コパル(Fe54%, Ni29%, Co17%)又は42アロイ(Fe58%, Ni42%)等が挙げられる。金属薄板114はステンレス鋼により作られ、金属薄板114は枠本体113の上面にろう付又は溶接により接着され、セラミック基板111の表面周囲の一部である基板111の両側に下面が当接する当接部114bを有する。

【0050】金属薄板114を枠本体113に接着して形成された金属棒112には、ドリル等の加工器具を用いた機械加工によりこれらを貫通する貫通孔112aがそれぞれ形成される。図15に示すように、この実施の形態における金属棒112は、金属薄板114の当接部114bと回路パターン111aとの間にろう材(図示せず)を介装した後、セラミック基板111の両側にそれぞれ配置され、その後所定の温度に昇温することにより金属棒112は、貫通孔112aがセラミック基板111を挟むようにセラミック基板111の両側にそれぞれ固着される。この際に使用されるろう材は、回路パターン111aに後述する半導体素子23を搭載する際に使用されるはんだの融点より高い溶融温度を有するA1系ろう材が使用される。A1系ろう材にはA1-7.5Si, A1-12Si, A1-10Si-4Cu又はA1-9.5Znが挙げられる。

【0051】図14及び図15に示すように、パワーモジュール用基板110はカラー116と弾性体117とを備える。カラー116は貫通孔112aに遊挿可能な外径を有する筒部116aと金属棒112の上面に当接するフランジ部116bが一体的に形成され、このカラー116にはそのフランジ部116b及び筒部116aに貫通して通孔116cが形成される。弾性体117は弾性を有する合成ゴム板をドーナツ状に打抜くことにより作られる。このドーナツ状の弾性体117は筒部116aに嵌入され、この状態でカラー116を貫通孔112aに遊挿することにより弾性体117はフランジ部116bと金属棒112の上面との間に介装される。このパワーモジュール用基板110は、カラー116の通孔116cに雄ねじ26を挿通してこの雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a、又は図19に示す水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合することにより、金属棒112が固着されたセラミック基板111を水冷式ヒートシンク27に接合するように構成される。

【0052】このパワーモジュール用基板110では、貫通孔112aを使用して雄ねじ26によりセラミック基板111が水冷式ヒートシンク27に接合されるけれども、雄ねじ26の締結力は金属棒112に加わり、その締結力がセラミック基板111に直接加わることはな

い。このため、雄ねじ26の締結力に起因してセラミック基板111が破損することなく、回路パターン111aに搭載された半導体素子23からの熱は水冷式ヒートシンク27に有効に伝達される。

【0053】また、半導体素子からの熱が伝達されることにより、セラミック基板111及び水冷式ヒートシンク27自体の温度は上昇してそれぞれが膨張する。ここでセラミック基板111の熱膨張係数は金属により作られた水冷式ヒートシンク27の熱膨張係数より一般的に低いため、雄ねじ27aに螺合された雄ねじ26の間隔は貫通孔112aの間隔より広がるけれども、その雄ねじ26の間隔の広がりや弾性体117がその弾性により吸収して許容する。即ち、弾性体117は膨張又は収縮により生じるセラミック基板111と水冷式ヒートシンク27との取付誤差をその弾性により吸収し、温度変化に起因するセラミック基板111の破損を防止する。

【0054】このように構成されたパワーモジュール用基板110を用いた半導体装置を説明する。先ず図20(a)に示すように、パワーモジュール用基板110に形成された回路パターン111aに半導体素子23がはんだ23aにより搭載され、図20(b)に示すように、半導体素子23が搭載されたパワーモジュール用基板110の表面に、端子24が内周面に設けられた枠部材25がその半導体素子23を包囲するように接着される。端子24は半導体素子23と接続線23bにより接続され、図20(c)に示すように、枠部材25により包囲される空間にはシリコンゲル29のような絶縁性ゲルが充填される。絶縁性ゲルの充填により半導体素子23を封止した後、枠部材25の上面には蓋板25aが接着される。

【0055】次に、水冷式ヒートシンク27のパワーモジュール用基板110が取付けられる部分に必要な応じてシリコン樹脂が塗布され、その上にセラミック基板111を配置する。水冷式ヒートシンク27は内部に冷却水28が循環する水路27bが形成され、この水路27bに冷却水28が循環することにより熱を外部に放散するように構成される。カラー116の通孔116cには雄ねじ26が挿通され、雄ねじ26は水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27aに螺合される。これによりセラミック基板111は水冷式ヒートシンク27に直接接合されて半導体装置が得られる。

【0056】この半導体装置では、半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの熱の伝達経路は、図22に示す従来の熱の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は水冷式ヒートシンク27に有効に伝達されて外部に放散される。なお、上述した半導体装置は雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27aに螺合したが、図19に示すように雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合することにより半導体装

置を得ても良い。

【0057】図16及び図17に本発明のパワーモジュール用基板における第5の実施の形態を説明する。図面中上述した実施の形態と同一符号は同一部品を示し繰返しての説明を省略する。図17に示すように、枠本体113及び金属薄板114はセラミック基板111の全周を包囲するように四角枠状に形成され、金属薄板114はその基板111の表面周囲の全部に下面が当接するように形成される。このような金属薄板114を枠本体113に接着して形成された金属枠112には、ドリル等の加工工具を用いた機械加工によりセラミック基板111を挟むように両側にそれぞれ挿通孔112bが形成される。金属枠112のセラミック基板111への固着は、金属薄板114の当接部114bを回路パターン111aにA1系ろう材を介して重ね合せた後、所定の温度に昇温することによりこの当接部114bと回路パターン111aの一部又は全部を接合することにより行われる。A1系ろう材にはA1-7.5Si、A1-12Si、A1-10Si-4Cu又はA1-95Znが挙げられる。当接部114bと回路パターン111aの一部を接合する場合はセラミック基板111と金属枠112の熱膨張係数が異なる場合に採用され、当接部114bと回路パターン111aの全部を接合する場合はセラミック基板111と金属枠112の熱膨張係数が略同一であることが必要である。

【0058】また、パワーモジュール用基板120は、ワッシャ118と弾性体117とを備え、ワッシャ118は挿通孔112bに連通する連通孔118aが形成される。一方、弾性体117は弾性を有する合成ゴム板をドーナツ状に打抜くことにより作られ、ワッシャ118はこのドーナツ状の弾性体117を介して金属枠112の上面に配置される。このパワーモジュール用基板120は、ワッシャ118の連通孔118aに挿通された雄ねじ26を金属枠112の挿通孔112bに遊挿し、この雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合することにより、金属枠112が固着されたセラミック基板111を水冷式ヒートシンク27に接合するように構成される。

【0059】このパワーモジュール用基板120では、挿通孔112bを使用して雄ねじ26によりセラミック基板111が水冷式ヒートシンク27に接合されるけれども、雄ねじ26の締結力は金属枠112に加わり、その締結力がセラミック基板111に直接加わることはない。このため、雄ねじ26の締結力に起因してセラミック基板111が破損することなく、回路パターン111aに搭載された半導体素子からの熱は水冷式ヒートシンク27に有効に伝達される。また、半導体素子23からの熱が伝達してセラミック基板111及び水冷式ヒ-

トシンク27自体がそれぞれ膨張し、雄ねじ26の間隔が挿通孔112bの間隔より広がっても、その雄ねじ26の間隔の広がり弾性体117がその弾性により吸収して、温度変化に起因するセラミック基板111の破損を防止する。

【0060】なお、上述した実施の形態では金属薄板114の当接部114bと回路パターン111aとをろう付により全面的に又は部分的に接合することにより金属棒112をセラミック基板111に固着したが、図18に示すように、当接部114bをセラミック基板111に直接に接合することにより金属棒112をセラミック基板111に固着しても良い。また、上述した実施の形態では金属薄板114を棒本体113に接着して金属棒112を形成したが、セラミック基板111の周囲の全部又は一部に固着可能である限り、金属薄板は金属棒を切削加工等を行うことにより金属棒と一体的に形成しても良い。

【0061】このように構成されたパワーモジュール用基板120を用いた半導体装置は、ワッシャ118の連通孔118aに挿通された雄ねじ26を金属棒112の挿通孔112bに遊挿し、この雄ねじ26を水冷式ヒートシンク27に形成された雌ねじ27a又は水冷式ヒートシンク27に貫通して形成された取付孔27cに更に挿通してナット31に螺合することにより、金属棒112が固着されたセラミック基板111を水冷式ヒートシンク27に接合して半導体装置を得る。このようなパワーモジュール用基板120を用いた半導体装置でも、半導体素子23から水冷式ヒートシンク27までの熱の伝達経路は、図22に示す従来の熱の伝達経路より短く、半導体素子23からの熱は水冷式ヒートシンク27に有効に伝達されて外部に放散される。

【0062】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、セラミック基板の周囲に複数の貫通孔形成された金属棒を設け、貫通孔に連通する通路を有しかつセラミック基板又は回路パターンの表面周囲の一部又は全部に下面が当接する当接部を有する金属薄板を金属棒の表面に配置し、通路及び貫通孔に雄ねじを挿通して水冷式ヒートシンクに形成された雌ねじ又は水冷式ヒートシンクに貫通して形成された取付孔に更に挿通してナットに螺合してセラミック基板を水冷式ヒートシンクに接合するように構成したので、雄ねじの締結力がセラミック基板に直接加わることはなく、雄ねじの締結力に起因するセラミック基板の破損を防止することができる。

【0063】また、金属棒及びその金属棒の表面に配置された金属薄板をセラミック基板に比較して機械加工が比較的容易なものを使用すれば、通路及び貫通孔の形成が容易になり、正確な取付ピッチで取付孔を形成することができる。弾性体をセラミック基板又は回路パターンの表面と金属薄板の対向部との間に介装すれば、その弾

性体が膨張又は収縮により生じるセラミック基板と水冷式ヒートシンクとの取付誤差を弾性により吸収し、温度変化に起因するセラミック基板の破損を防止することができる。この場合、弾性体を耐熱性接着剤により接着すれば、弾性体の移動が防止され、対向部の下面に弾性体を介して当接するセラミック基板を有効に水冷式ヒートシンクに接合することができる。

【0064】また、セラミック基板の周囲の一部又は全部にセラミック基板の厚さと同一又は僅かに薄い厚さを有しかつ複数の貫通孔がセラミック基板を挟むように形成された金属棒を設け、セラミック基板及び金属棒の表面に貫通孔に連通する第1通路を有しかつセラミック基板に対向する部分に回路パターンが形成された第1金属薄板を接着し、セラミック基板及び金属棒の裏面に貫通孔及び第1通路に連通する第2通路を有しかつ水冷式ヒートシンクに対向する第2金属薄板を接着したので、金属棒及び第1及び第2金属薄板に形成された第1通路、貫通孔及び第2通路に雄ねじを挿通して水冷式ヒートシンクに形成された雌ねじ又は水冷式ヒートシンクに貫通して形成された取付孔に更に挿通してナットに螺合しても、雄ねじの締結力がセラミック基板に直接加わることはなく雄ねじの締結力に起因するセラミック基板の破損を防止することができる。

【0065】また、第1及び第2金属薄板を接着してセラミック基板及び金属棒を一体化した後、第1金属薄板、金属棒及び第2金属薄板にこれらを貫通する第1通路、貫通孔及び第2通路をそれぞれ形成することにより、パワーモジュール用基板に容易にかつ正確な取付ピッチで取付孔を形成することができる。また、弾性体を介して貫通孔に遊挿するカラーのフランジ部又はワッシャを金属棒の上面に配置し、カラーの通路に雄ねじを挿通して又はワッシャの連通孔に挿通された雄ねじを金属棒の挿通孔に遊挿してセラミック基板を水冷式ヒートシンクに接合するので、膨張又は収縮により生じるセラミック基板と水冷式ヒートシンクとの取付誤差を弾性体はその弾性により吸収し、温度変化に起因するセラミック基板の破損を防止することができる。

【0066】更に、回路パターンに半導体素子を搭載し、通路及び貫通孔に雄ねじを挿通して、又はカラーの通路に雄ねじを挿通して若しくはワッシャの連通孔に挿通された雄ねじを金属棒の挿通孔に遊挿して、水冷式ヒートシンクに形成された雌ねじ又は又は水冷式ヒートシンクに貫通して形成された取付孔に更に挿通してナットに螺合することによりパワーモジュール用基板を水冷式ヒートシンクに直接接合した半導体装置では、水冷式ヒートシンクに直接接合されたパワーモジュール用基板の回路パターンに搭載された半導体素子から水冷式ヒートシンクまでの伝達経路は比較的短くなり、半導体素子からの熱は水冷式ヒートシンクまで有効に伝達される。この結果、本発明ではセラミック基板を損傷させることな

く半導体素子等から水冷式ヒートシンクまでの伝達経路を短くして半導体素子からの熱を有効に放散することができる。なお、水冷式ヒートシンクが水路を有するヒートシンク本体とこの水路を封止可能なヒートシンク蓋とにより構成されている場合には、パワーモジュール用基板をヒートシンク蓋に直接接合し、そのヒートシンク蓋の表面にそのパワーモジュール用基板を包囲するように枠部材を接着し、端子と半導体素子とを接続して絶縁性ゲルを充填し更に枠部材の上面に蓋板を接着し、そのヒートシンク蓋をヒートシンク本体にネジ止めするように半導体装置を構成すれば、ヒートシンク蓋をヒートシンク本体にネジ止めするだけの簡単な作業で半導体装置を容易に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態におけるパワーモジュール用基板の断面図。

【図2】そのパワーモジュール用基板を含む半導体装置の製造行程図。

【図3】そのパワーモジュール用基板が水冷式ヒートシンクに取付けられる状態を示す斜視図。

【図4】別のパワーモジュール用基板を含む半導体装置の断面図。

【図5】その別のパワーモジュール用基板が水冷式ヒートシンクに取付けられる状態を示す斜視図。

【図6】雄ねじが取付孔に挿通しナットに螺合してパワーモジュール用基板が取付けられた図4に対応する断面図。

【図7】枠部材が水冷式ヒートシンクの表面に接着された半導体装置を示す図2(c)に対応する断面図。

【図8】本発明の第2の実施の形態における半導体装置を示す図2(c)に対応する断面図。

【図9】本発明の第3の実施の形態におけるパワーモジュール用基板の製造方法を示す行程図。

【図10】その基板を使用した半導体装置の製造行程図。

【図11】そのセラミック基板と金属棒と第1及び第2金属薄板との関係を示す斜視図。

【図12】別のセラミック基板と金属棒と第1及び第2金属薄板との関係を示す斜視図。

【図13】そのパワーモジュール用基板を用いた別の半導体装置を示す図10(c)に対応する断面図。

【図14】本発明の第4の実施の形態におけるパワーモジュール用基板の断面図。

【図15】そのパワーモジュール用基板が水冷式ヒートシンクに取付けられる状態を示す斜視図。

【図16】本発明の第5の実施の形態におけるパワーモジュール用基板の断面図。

【図17】そのパワーモジュール用基板が水冷式ヒートシンクに取付けられる状態を示す斜視図。

【図18】本発明の更に別のパワーモジュール用基板の

断面図。

【図19】雄ねじが水冷式ヒートシンクの取付孔に挿通されて取付けられた図14に対応するパワーモジュール用基板の断面図。

【図20】そのパワーモジュール用基板を含む半導体装置の製造行程図。

【図21】従来例を示す図1に対応する断面図。

【図22】別の従来例を示す図1に対応する断面図。

【符号の説明】

11 セラミック基板

12, 62 金属棒

12a 貫通孔

13, 63 金属薄板

13a 通孔

13b 当接部

17 回路パターン

21, 61, 81, 110, 120 パワーモジュール用基板

23 半導体素子

24 端子

25 枠部材

25a 蓋板

26 雄ねじ

27 水冷式ヒートシンク

27a 雌ねじ

27b 水路

27c 取付孔

27d ヒートシンク本体

27e ヒートシンク蓋

27f 雌ねじ

29 絶縁性ゲル

31 ナット

62 金属棒

62a 貫通孔

63 金属薄板

63a 通孔

63b 対向部

66 耐熱性接着剤

72 金属棒

72a 貫通孔

73 金属薄板

73a 第1通孔

74 第2金属薄板

74a 第2通孔

76 ろう材

77 回路パターン

111 セラミック基板

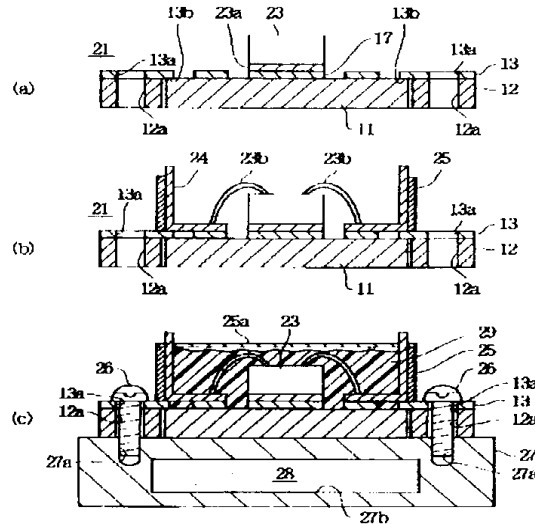
111a 回路パターン

112 金属棒

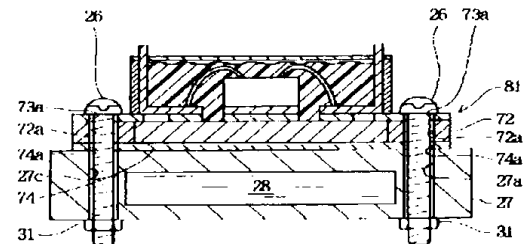
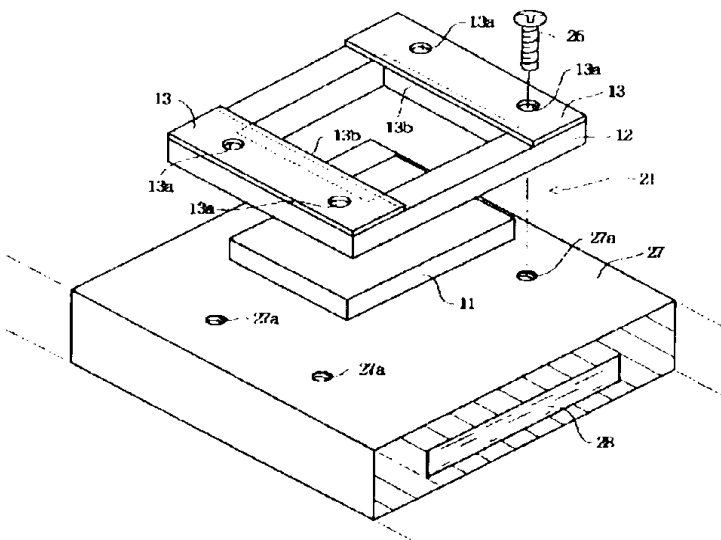
112a 貫通孔

116b フランジ部  
116c 通孔  
117 弾性体  
118 ワッシャ  
118a 連通孔

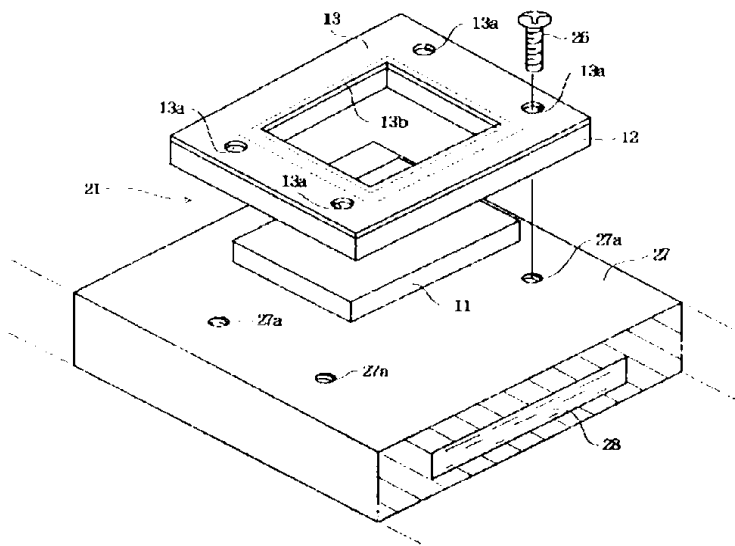
【図2】



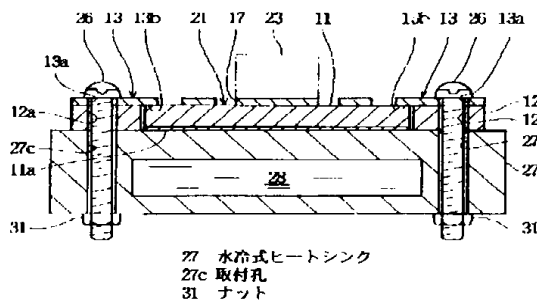
【例 1-3】



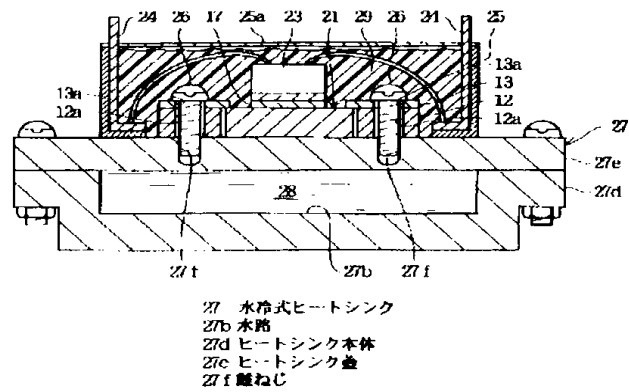
【図5】



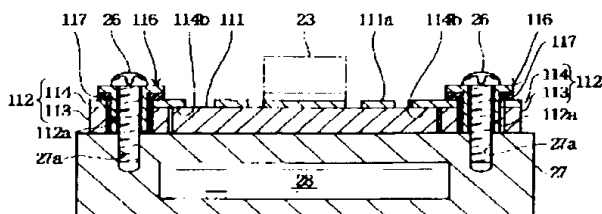
【图6】



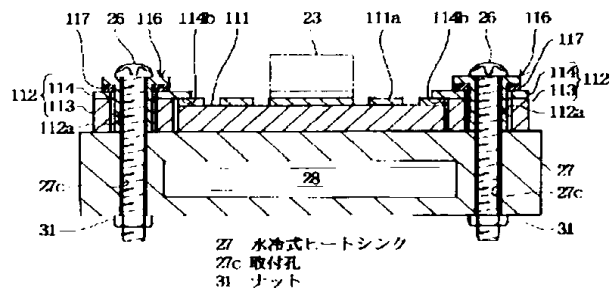
【例7】



【图 18】

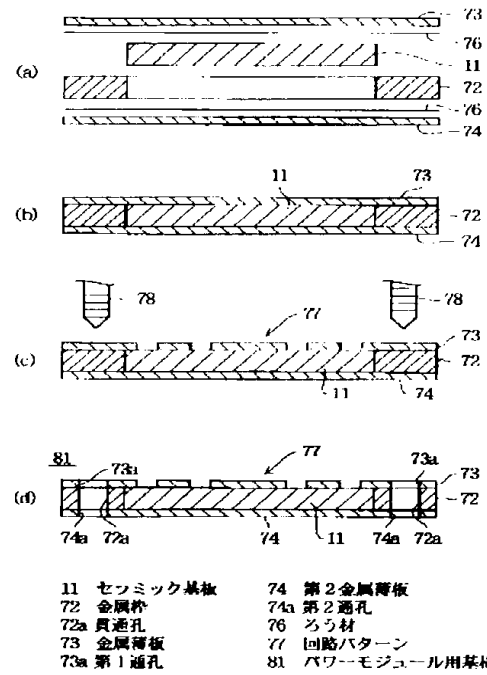


【图 1-9】

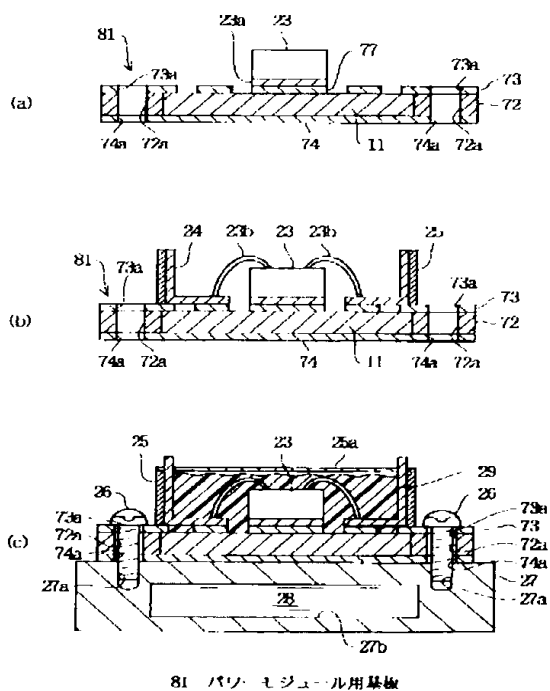




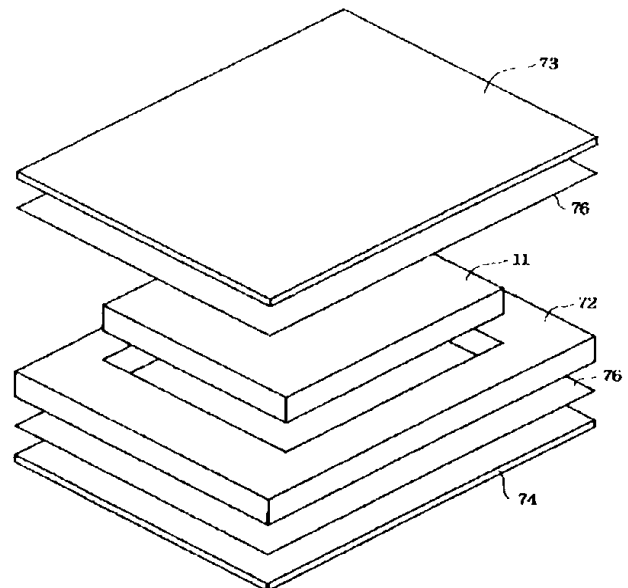
【图9】



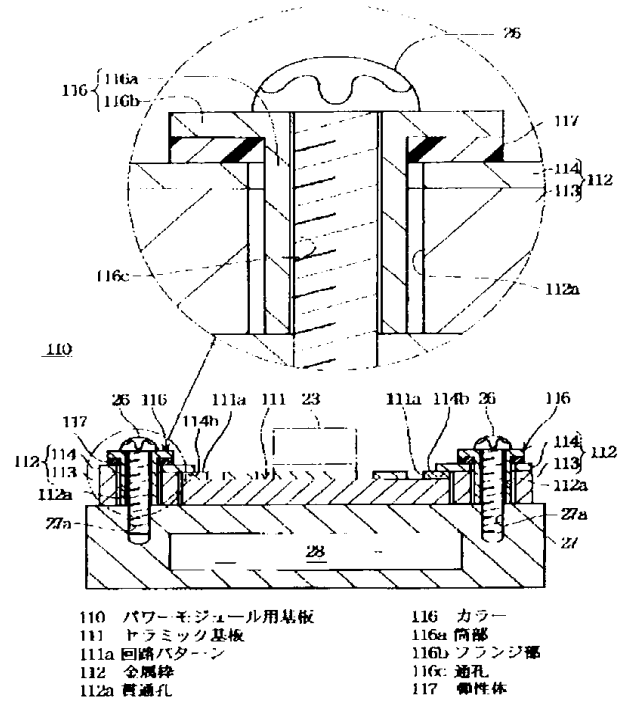
【※】



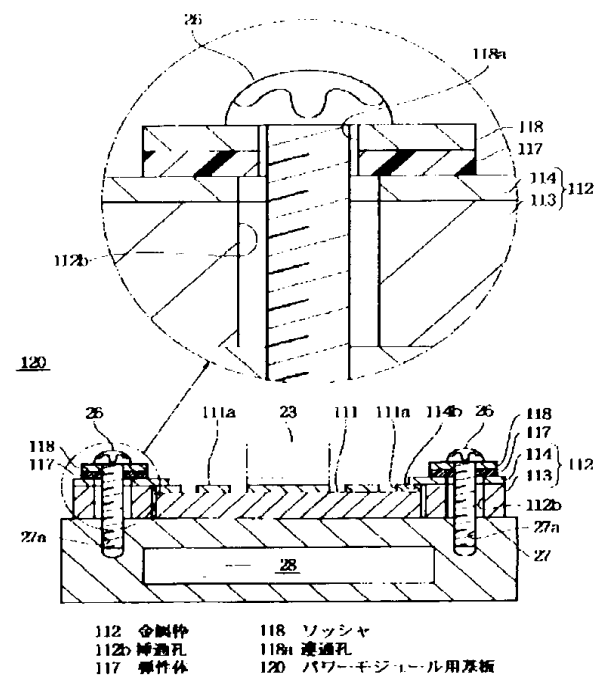
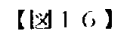
【~~✕~~ 1 1 】



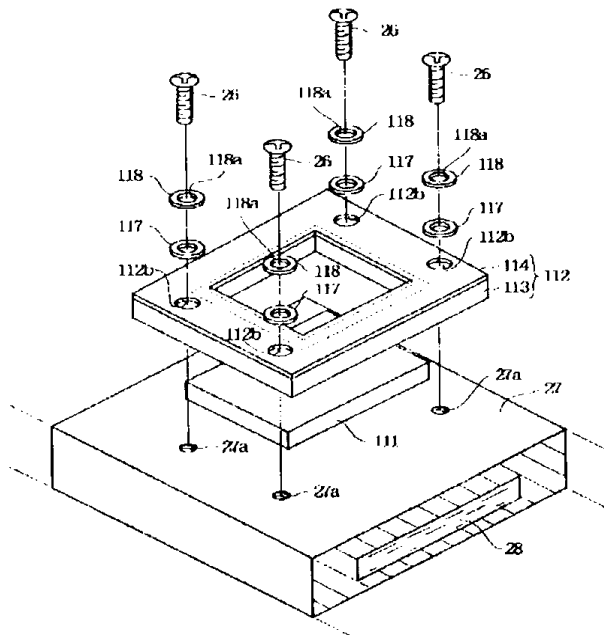
【例 1-4】



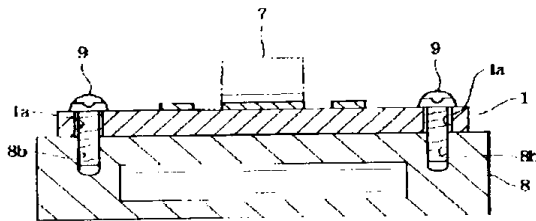
【图 15】



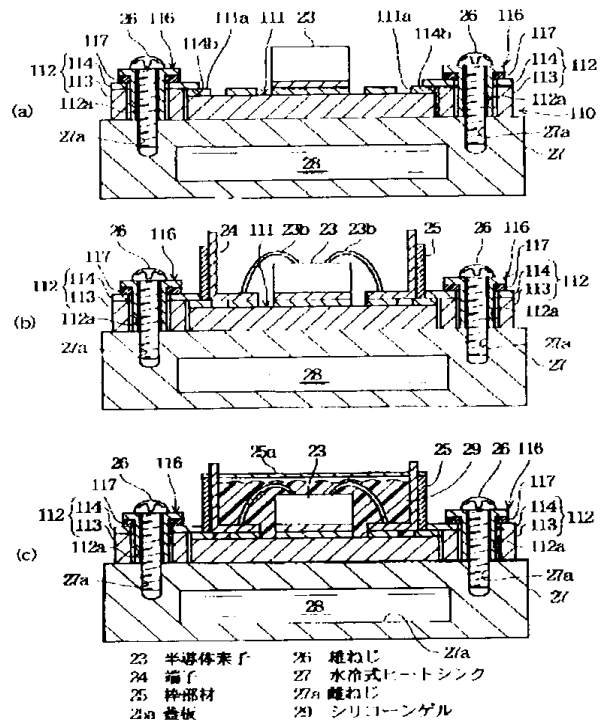
【図17】



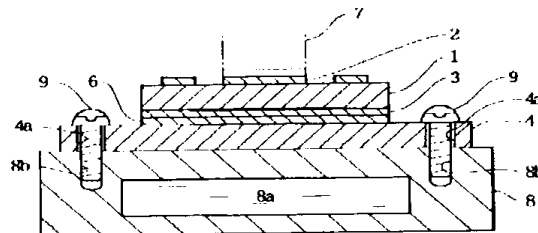
【図21】



【図20】



【図22】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願平11-29551  
 (32)優先日 平成11年2月8日(1999. 2. 8)  
 (33)優先権主張国 日本(JP)  
 (31)優先権主張番号 特願平11-138662  
 (32)優先日 平成11年5月19日(1999. 5. 19)  
 (33)優先権主張国 日本(JP)  
 (72)発明者 久保 和明  
 埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
 マテリアル株式会社総合研究所内

(72)発明者 島村 正一  
 埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
 マテリアル株式会社総合研究所内  
 (72)発明者 郷司 浩市  
 埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
 マテリアル株式会社総合研究所内  
 Fターム(参考) 5F036 AA01 BA10 BB01 BB08 BC03  
 BD13